

Evaluación de la demanda sísmica fuera del plano en edificios  
**Evaluation of seismic demand out plane in buildings**

Wilmer Julián Carrillo León<sup>1</sup>, Giovanni González Peñuela<sup>2</sup>  
Facultad de Ingeniería

Universidad Militar Nueva Granada

**RESUMEN:** En este trabajo se presentan los resultados de una investigación analítica y computacional, donde se propone una metodología para evaluar la demanda sísmica fuera del plano, en edificaciones de pórticos con rellenos de mampostería no reforzada. Con esta metodología se obtienen los registros de aceleración en diferentes alturas del edificio. Las ecuaciones propuestas se basan en los resultados obtenidos mediante metodologías establecidas a nivel mundial, datos registrados de una edificación construida en la ciudad de los Ángeles, la cual se encontraba completamente instrumentada durante el sismo de Northridge – 1994; y modelos analíticos de edificios típicos analizados mediante el método de elementos finitos - FEM. Por último, se presentan curvas de aceleración respecto a la altura (utilizando la metodología propuesta) para edificios típicos con sistema estructural de pórticos con mampostería no reforzada construidos para las diferentes zonas establecidas en la microzonificación sísmica de la ciudad de Bogotá.

**Palabras claves:** demanda sísmica, aceleración de piso, modelación, mampostería, pórtico, elementos finitos.

**ABSTRACT:** In this paper, the results of an analytical and computational investigation are presented, where a reliable methodology for evaluating the seismic demand out the plane, in the constructions of frames with infills of nonreinforced masonry are proposed. With this methodology the acceleration records in different heights from the building are obtained. The equations which are proposed were obtained considering the results by methodologies established at world-wide level, experimental results of a building constructed in Los Angeles city, which was completely instrumented during the Northridge earthquake – 1994; and analytical models of typical buildings analyzed by the finite elements method - FEM. Finally, acceleration curves with respect to the height (with the proposed methodology) of typical buildings of frames with infills of nonreinforced masonry constructed in the different zones established in the seismic areas from Bogotá city are presented.

**Keywords:** seismic demand, floor acceleration, modelling, masonry, frame, finite elements.

---

<sup>1</sup> Ingeniero Civil, Universidad Militar “Nueva Granada”. Magíster en Ingeniería Civil - Estructuras y sísmica, Universidad de los Andes. Docente, Investigador y Director de los Laboratorios de Ingeniería Civil, Universidad Militar “Nueva Granada”. e-mail: [wcarrillo@umng.edu.co](mailto:wcarrillo@umng.edu.co).

<sup>2</sup> Ingeniero Civil, Universidad de la Salle. Estudiante de Especialización en Estructuras, Escuela Colombiana de Ingeniería. Docente e Investigador Programa de Ingeniería Civil, Universidad Militar “Nueva Granada”. e-mail: [giogon@umng.edu.co](mailto:giogon@umng.edu.co)

## **I. INTRODUCCIÓN**

Con la experiencia obtenida de sismos anteriores, se ha demostrado que los muros de mampostería no se comportan adecuadamente cuando están sometidos a cargas cíclicas actuando dentro y fuera de su plano. Dicho comportamiento se debe principalmente a que: (1) la mampostería tiene poca capacidad de disipar energía, (2) cuando se diseña la mampostería, se subestiman las aceleraciones (demanda sísmica) a que están sometidos fuera del plano y (3) los diseñadores no los incluyen en el proceso de análisis y diseño estructural. Además se debe tener en cuenta que un gran porcentaje del costo asociado a una reparación post-sismo debe ser destinado a la rehabilitación o reconstrucción de los elementos catalogados como no estructurales, dentro de los cuales están clasificados los muros de relleno.

En este trabajo se propone una solución a una de las principales causas de este comportamiento, la cual radica en el cálculo inapropiado de la demanda sísmica (aceleraciones de piso) fuera del plano de los muros de mampostería. La evaluación de este parámetro de diseño, permitirá obtener valores de aceleración a los cuales estarán sometidos los muros de relleno de una edificación durante un evento sísmico, evitando el daño total o parcial que se presenta en estos muros, debido a estimaciones erradas de este importante parámetro de diseño.

## **II. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

Se muestra a continuación el procedimiento general que se llevó a cabo en la investigación, con el fin de conocer claramente el flujo de la información y el uso de herramientas computacionales utilizadas durante el proceso investigativo:

### **A. Recolección de información**

Teniendo en cuenta la importancia de conocer las diferentes metodologías utilizadas actualmente para la evaluación de este parámetro de diseño, se presentan algunas propuestas de investigadores con destacado prestigio nacional e internacional, y métodos avalados en algunos códigos de diseño, incluyendo la Norma Sismo Resistente Colombiana - NSR-98 (AIS, 1998).

### **B. Desarrollo de la propuesta de análisis**

Después de analizar algunas de las metodologías disponibles actualmente y teniendo en cuenta los criterios de dinámica y análisis estructural, se logra desarrollar y proponer una metodología para la evaluación de la demanda sísmica fuera del plano en muros de mampostería. La metodología propuesta involucra las características propias de la edificación y el nivel de amenaza sísmica del sitio donde se encuentra la construcción.

### **C. Comparación de las metodologías con datos reales**

Con el fin de validar los resultados arrojados por la metodología propuesta, se realiza una comparación con los métodos propuestos por diferentes autores y normas de diseño, y con datos registrados (reales) de un edificio que se encontraba

apropiadamente instrumentado durante el sismo de Northridge en 1994, logrando captar las diferentes aceleraciones de piso durante este importante evento sísmico.

#### D. Modelación computacional

Apoyados en el alto poder de modelamiento y simulación de las herramientas computacionales altamente validadas, se muestran los resultados obtenidos de 6 modelos de análisis realizados utilizando el programa SAP 2000 v8.16 (Computers and Structures, 2003). Se realiza la modelación de 3 edificios de 3, 7 y 13 pisos con y sin muros de mampostería (rellenos), y se comparan los resultados encontrados con la metodología de diseño propuesta.

### III. METODOLOGÍAS ACTUALES

A continuación se describen algunos de los métodos actuales disponibles a nivel mundial para la evaluación de la demanda sísmica en edificaciones con sistemas estructurales conformados por pórticos. Estos métodos no tienen en cuenta la influencia de los rellenos de mampostería. Sin embargo, con este trabajo se pretende desarrollar una metodología adecuada y sencilla que permita tener en cuenta la contribución de estos elementos.

#### A. Normas NSR-98

La NSR-98 (AIS, 1998) en el capítulo A.9.4.2 especifica que la aceleración en el punto de soporte de un elemento no estructural,  $a_{i \max}$ , se calcula de acuerdo con:

$$a_{i \max} = \frac{C_{vi} V_s}{m_i g} \leq 2 S_a, \quad a_{i \max} \geq \frac{A_a I}{2}$$

(1)

donde  $V_s$  = cortante sísmico en la base;  $C_{vi} V_s$  = fuerza lateral aplicada al piso  $i$  donde está anclado el elemento no estructural;  $m_i$  = masa del piso  $i$ ;  $g$  = aceleración de la gravedad;  $S_a$  = valor del espectro de aceleraciones de diseño para el periodo fundamental de la edificación;  $A_a$  = aceleración pico efectiva; e  $I$  = coeficiente de importancia.

#### B. Normas NTCS-2001

Esta norma mexicana (NTC, 2001) propone que las aceleraciones para diseño sísmico de elementos no estructurales, son las que le corresponderían si se apoya directamente en el terreno, multiplicadas por:

$$1 + \frac{c'}{a_0}$$

(2)

donde  $a_0$  = aceleración máxima en la superficie del terreno; y  $c'$  = factor que multiplica los pesos a la altura de sujeción del muro cuando se avalúan las fuerzas laterales sobre la estructura.

### C. Normas NEHRP-97

Esta norma (NEHRP, 1997) propone que las fuerzas para diseño de elementos no estructurales se calculen de acuerdo con:

$$F_p = \frac{0.4 a_p S_{DS} W_p}{R_p / I_p} \left( 1 + 2 \frac{z}{h} \right)$$

(3)

donde  $S_{DS}$  = ordenada del espectro de pseudoaceleraciones;  $a_p$ ,  $W_p$ ,  $R_p$ ,  $I_p$  = factor de amplificación de respuesta, peso, factor de modificación de respuesta y factor de importancia del componente respectivamente;  $z$  = altura de la parte más alta del componente medida desde el nivel de desplante de la estructura; y  $h$  = altura total de la estructura. Si se considera  $a_p = R_p = I_p = 1.0$ , y que la meseta del espectro de pseudoaceleraciones para periodos cortos es 2.5 veces la aceleración máxima a nivel del terreno, resulta la siguiente expresión simplificada de la aceleración absoluta (Jaramillo, 2003):

$$a_{i \max}^j = a_{\max} \left( 1 + 2 \frac{y}{H} \right)$$

(4)

### D. Paulay y Priestley

Estos autores proponen la siguiente ecuación (Paulay y Priestley, 1992):

$$a_{i \max}^j = a_{\max} + \frac{S_a - a_{\max}}{H_{eq}} y; \quad \text{para} \quad 0 < y < H_{eq}$$

(5)

$$a_{i \max}^j = \frac{S_a}{H_{eq}} y \quad ; \quad \text{para} \quad y > H_{eq}$$

(6)

donde  $H_{eq}$  = altura en la que el factor  $\phi_i^j$  ( $FP^j \phi_i^j$ ) es igual a 1.0;  $\phi_i^j$  y  $FP^j$  = forma modal y factor de participación del modo  $j$ .

### E. Rodríguez y Restrepo

El método propuesto por Rodríguez y Restrepo (2002) esta basado en una superposición modal modificada para tener en cuenta la respuesta inelástica del sistema de resistencia lateral de los edificios. El coeficiente sísmico,  $C_{pn}$ , para el diafragma en el nivel más alto, es igual a:

$$C_{pn} = \sqrt{\left[ \frac{\eta_1}{R_1} C_h(T_1, 1) \right]^2 + 1.75 \ln(n) C_{h0}^2}$$

(7)

donde  $\eta_1$  = coeficiente de contribución del primer modo de vibración ( $\eta_1 = 1.0$  para edificaciones de un piso y  $\eta_1 = 1.5$  para edificaciones de varios pisos);  $R_1$  = factor de reducción para el primer modo de vibración;  $C_h(T_1, 1)$  = coeficiente sísmico derivado

para respuesta elástica del espectro de diseño para el periodo fundamental en la dirección en estudio; y  $n$  = número de pisos de la edificación. Las magnificaciones de las aceleraciones de piso son definidas por la relación  $C_{pi}/C_{h0}$  (coeficiente sísmico horizontal en el nivel  $i$  / relación entre la aceleración máxima del suelo y la gravedad).

#### F. Evaluación aproximada de la aceleración absoluta para una forma modal en sistemas de múltiples grados de libertad

Esta metodología (Jaramillo, 2003) especifica que la esperanza de la aceleración absoluta máxima debida al modo  $j$ ,  $a_{i\max}^j$ , se puede expresar en términos de la aceleración máxima del suelo,  $a_{\max}$ , el factor  $\varphi_i^j$  y la aceleración relativa máxima del sistema,  $z_{\max}^j$ , como:

$$a_{i\max}^j = \sqrt{a_{\max}^2 + (\varphi_i^j z_{\max}^j)^2 + 2\rho a_{\max} (\varphi_i^j z_{\max}^j)} \quad (8)$$

donde  $\rho$  = factor que varía entre -1 y 1, el cual mide la correlación entre las dos señales que se están sumando:  $a_{\max}$  y  $(\varphi_i^j z_{\max}^j)$ .

$$z_{\max}^j = a_{\max} \left( -\rho + \sqrt{\left( \frac{S_a(T)}{a_{\max}} \right)^2 - 1 + \rho^2} \right) \quad (9)$$

#### G. Evaluación aproximada de la aceleración absoluta en sistemas de múltiples grados de libertad considerando la participación de N formas modales

Esta metodología (Jaramillo, 2004) especifica que la esperanza de la aceleración absoluta máxima del grado de libertad  $i$ ,  $a_{i\max}$ , en función de los valores máximos de las aceleraciones modales relativas,  $z_{\max}^j$  y la aceleración máxima del suelo,  $a_{\max}$ , se escribe como:

$$a_{i\max} = \left[ \sum_{j=1}^{j=N} \sum_{k=1}^{k=N} (\rho_{jk} \varphi_i^j \varphi_i^k z_{\max}^j z_{\max}^k) + 2 \sum_{j=1}^{j=N} (\rho_{gj} a_{\max} \varphi_i^j z_{\max}^j) + a_{\max}^2 \right]^{1/2} \quad (10)$$

donde  $\rho_{jk}$  = coeficientes de correlación entre las respuestas modales; y  $\rho_{gj}$  = coeficientes de correlación entre las respuestas relativas y la excitación del terreno.

Esta metodología propone una aproximación para las aceleraciones modales relativas máximas,  $z_{\max}^j$ , basada en las mismas hipótesis y con la misma estrategia descrita en (Jaramillo, 2003).

$$z_{\max}^j = a_{\max} \left( -\rho_{gj} + \sqrt{\left( \frac{S_a(T_j)}{a_{\max}} \right)^2 - 1 + \rho_{gj}^2} \right) \quad (11)$$

#### IV. METODOLOGÍA PROPUESTA PARA EVALUAR LA DEMANDA SÍSMICA

Se propone a continuación una metodología, la cual está basada en el título A de las normas NSR-98 (AIS, 1998). La metodología propuesta arroja resultados consistentes de acuerdo con los métodos analíticos y experimentales (ver Figuras 5, 10, 11 y 12). A la metodología de las normas NSR-98 (AIS, 1998) se le realizaron las modificaciones respecto a la aceleración absoluta en el nivel cero (nivel de desplante de la edificación), ya que en este caso, la aceleración absoluta debe ser igual a la aceleración máxima del suelo. La metodología propuesta cumple con los siguientes enunciados (Carrillo, 2004):

1. Para el nivel más alto de la edificación ( $y_n$ ), la aceleración absoluta máxima se calcula de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$a_{n \max} = \frac{y_n^k S_a \sum_{i=1}^n m_i}{\sum_{i=1}^n m_i y_i^k} \leq 2 S_a \quad a_{n \max} \geq \frac{A_a I}{2}$$

(12)

El parámetro  $k$  es un exponente relacionado con el periodo fundamental de la edificación.

2. Para el nivel cero (nivel de desplante), la aceleración absoluta es igual a la aceleración máxima del suelo. Es decir:

$$a_{o \max} = A_a I$$

(13)

Evaluando la pendiente de la línea definida por las Ecuaciones 12 y 13, se obtiene la Ecuación 14, la cual define la aceleración absoluta máxima en cualquier nivel de la edificación.

$$a_{i \max} = \left[ \frac{y_i}{y_n} \left( \frac{y_n^k S_a \sum_{i=1}^n m_i}{\sum_{i=1}^n m_i y_i^k} - A_a I \right) + A_a I \right] \leq 2 S_a \quad a_{i \max} \geq \frac{A_a I}{2}$$

(14)

Cada uno de los parámetros involucrados en las Ecuaciones 12-14 se definen de una manera similar a la propuesta de la NSR-98 (AIS, 1998), teniendo en cuenta que el periodo de la edificación se evalúa incluyendo en el sistema estructural los muros de relleno, ya que estos elementos modifican significativamente la demanda sísmica sobre la estructura (ver Figuras 10-12). Los resultados de la Ecuación 14, se presentan en las gráficas mostradas para cada uno de los edificios analizados. Como se observa en las Figuras 5, 10, 11 y 12, los resultados arrojados por esta metodología están acorde con los arrojados por medio de los métodos analíticos (elásticos e inelásticos) y experimentales, en los cuales se tienen en cuenta la presencia de los elementos catalogados como no estructurales (muros de relleno).

## V. COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS CON DATOS REGISTRADOS

Para realizar la comparación de los métodos analíticos presentados anteriormente (incluyendo la metodología propuesta) frente a las observaciones experimentales, se analiza el edificio Sherman Oaks (ver Figura 1).



Figura 1. Fachada este del edificio Sherman Oaks. Tomada de Sasani et al (1999)

Este edificio es una construcción comercial de 15 pisos localizada en la ciudad de Los Ángeles, California, Estados Unidos (Sasani et al, 1999). Se ha elegido esta edificación para la construcción de las curvas de aceleración, ya que se encuentra completamente instrumentada y ha experimentado durante su vida dos sismos importantes: el sismo de San Fernando en 1971 y el sismo de Northridge en 1994. Después del sismo de San Fernando se instalaron 15 acelerógrafos, los cuales registraron el sismo de Northridge. La localización de los acelerógrafos se muestra en la Figura 2.

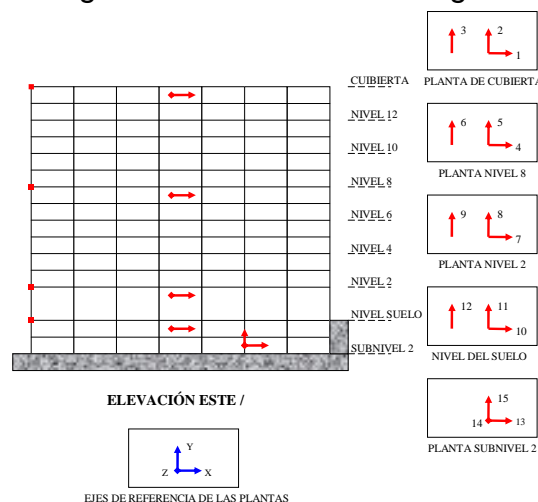


Figura 2. Localización de acelerógrafos del edificio Sherman Oaks. Adaptada de Sasani et al (1999)

Para realizar la comparación de las metodologías propuestas se realizaron dos modelos analíticos (ver Figura 3), uno lineal y otro no lineal (Reyes, 2001). Para realizar esta modelación se utilizó el programa SAP 2000 v8.16 (Computers and Structures, 2003). Además, se utilizaron los datos registrados del edificio durante el sismo de Northridge

(ver Figura 4). En la Figura 4(b) se muestra el acelerograma de entrada (en la base) en el sentido longitudinal.

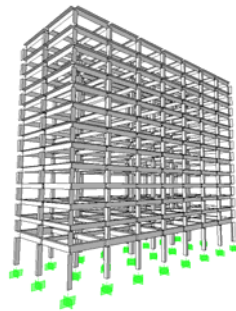


Figura 3. Geometría general de los modelos

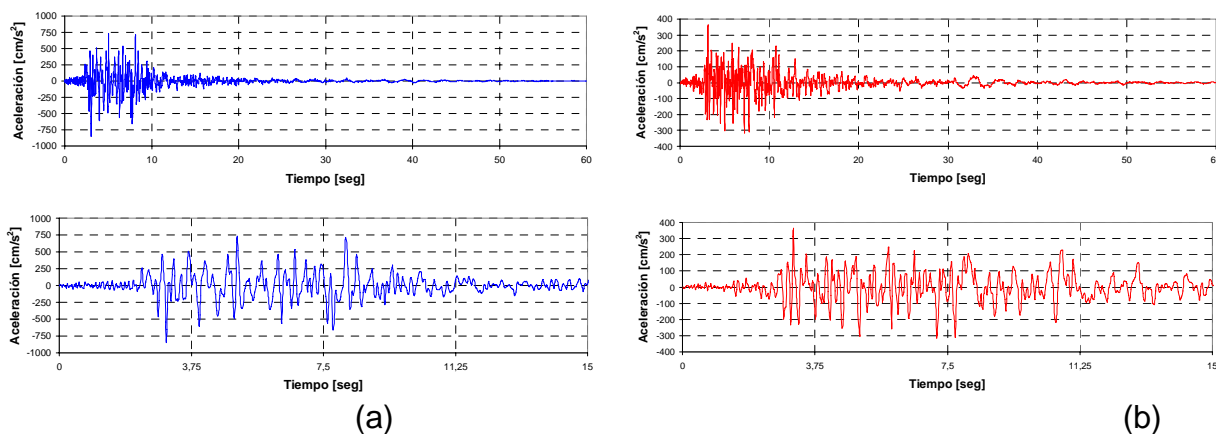


Figura 4. Registros de entrada en la base (sismo de Northridge, 1994). (a) Sentido transversal, (b) Sentido longitudinal. Tomados de Reyes (2001)

En la Figura 5 se muestra la comparación de las curvas experimentales y analíticas del edificio en el sentido transversal y longitudinal (Carrillo, 2004) en donde la relación  $y/H$  representa la altura relativa del nivel en consideración, es decir,  $y/H = 1.0$  para la altura máxima del edificio.

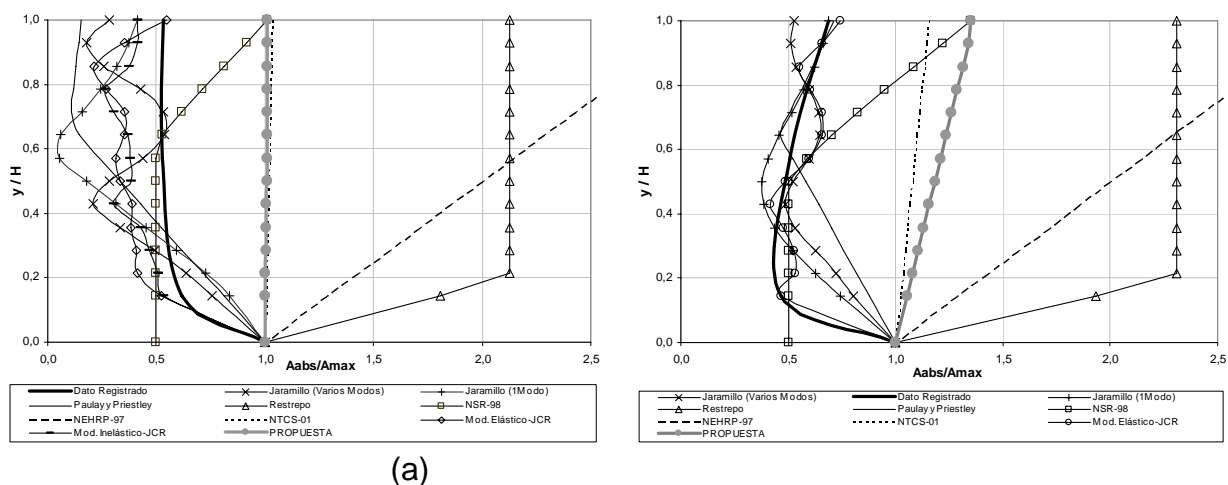




Figura 5. Curvas de aceleración del edificio Sherman Oaks. (a) Sentido transversal ( $a_{m\acute{a}x} = 0.87g$ ), (b) Sentido longitudinal ( $a_{m\acute{a}x} = 0.37g$ )

## VI. INFLUENCIA DE LA MAMPOSTERÍA EN LA DEMANDA SÍSMICA FUERA DEL PLANO DE LOS MUROS

En las Figuras 10 a 12 se presentan las curvas de aceleración obtenidas para tres edificios típicos (ver Figuras 7 a 9) construidos en la ciudad de Bogotá, las cuales incluyen la influencia de los muros (rellenos) de mampostería. Debido a la gran diferencia de los resultados obtenidos por los diferentes métodos analíticos, para la construcción de estas curvas se utilizó el método planteado por la NSR-98 (AIS, 1998), los resultados obtenidos por medio de los modelos elásticos y la metodología propuesta en este trabajo. Estos métodos se desarrollan teniendo en cuenta dos acelerogramas con diferentes características en cuanto a magnitud, duración e intensidad (ver Figura 6).

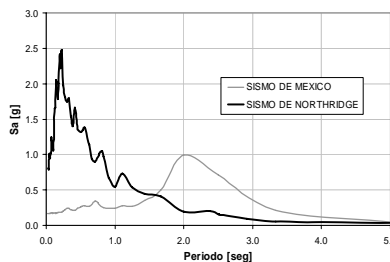


Figura 6. Espectros elásticos de pseudoaceleración amortiguados al 5%

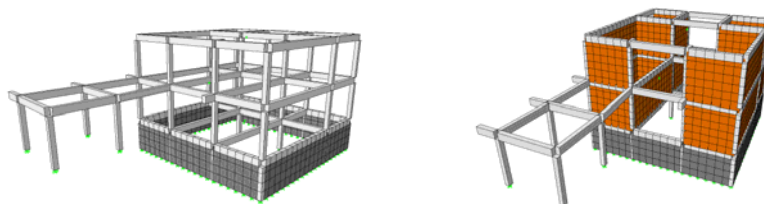


Figura 7. Modelos utilizados para el edificio de 3 pisos

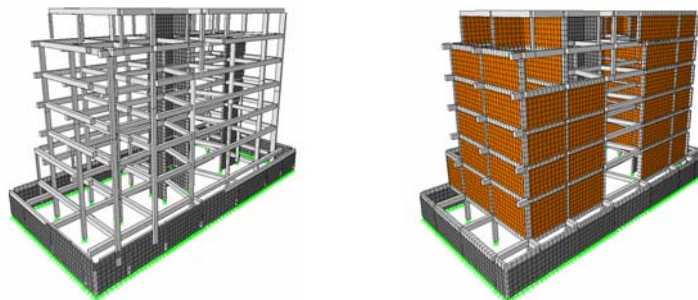


Figura 8. Modelos utilizados para el edificio de 7 pisos

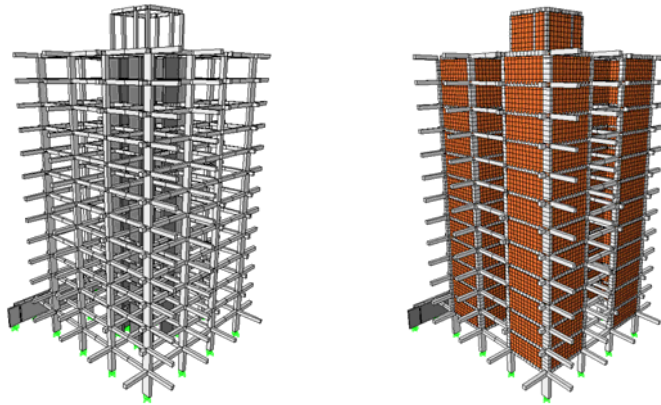


Figura 9. Modelos utilizados para el edificio de 13 pisos

Aunque los muros de relleno de mampostería son catalogados como elementos no estructurales, estos logran alterar significativamente el comportamiento global de las estructuras, ya que al estar en pleno contacto con los elementos del pórtico, se incrementa sustancialmente la rigidez de las edificaciones. Por lo tanto, el edificio de pórticos de concreto con muros de mampostería no reforzada, se comporta de una manera diferente a la contemplada originalmente en el diseño. De esta manera, las aceleraciones a que estarán sometidos los elementos no estructurales, son muy diferentes a las calculadas para un edificio de pórticos de concreto sin rellenos. Esta afirmación se muestra claramente en los resultados presentados en las Figuras 10 a 12.

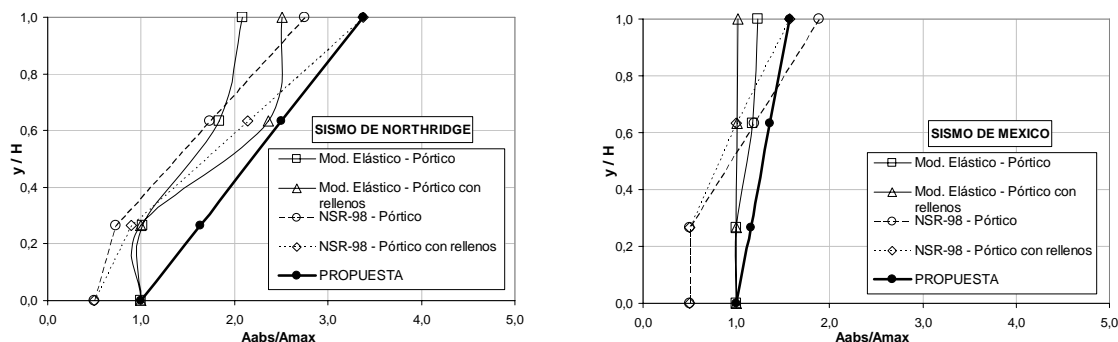


Figura 10. Curvas de aceleración del edificio 3 pisos

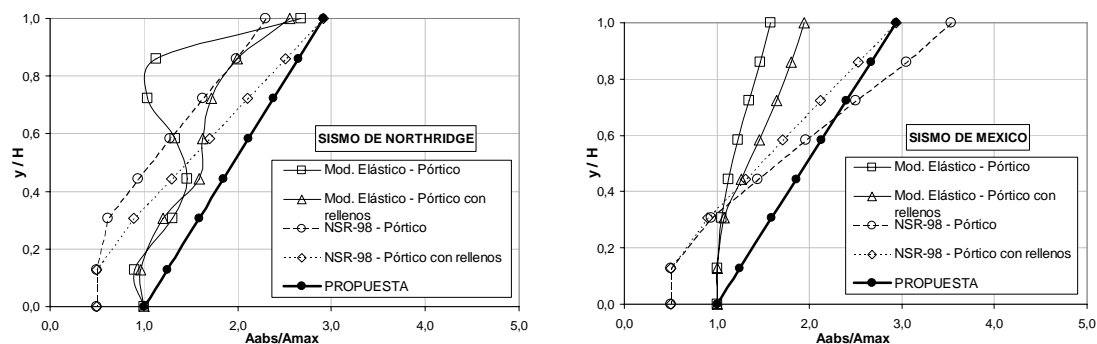


Figura 11. Curvas de aceleración del edificio 7 pisos

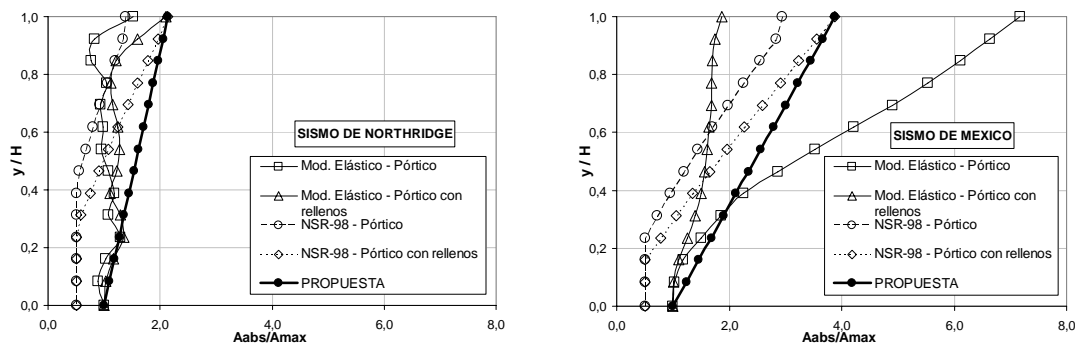
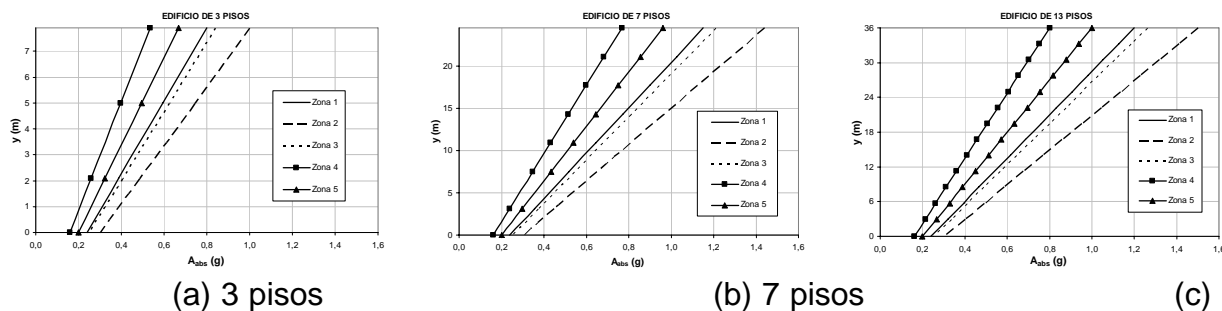


Figura 12. Curvas de aceleración del edificio 13 pisos

Además de observar en las Figuras 10 a 12 la incidencia de los muros de mampostería en pleno contacto (rellenos) en las aceleraciones de piso en estas estructuras, se destacan los resultados que se obtienen utilizando la metodología propuesta para evaluar este parámetro de diseño. Con la utilización de la misma, se logran estimaciones de diseño con un margen de seguridad apropiado, de acuerdo con los resultados obtenidos de los modelos computacionales de las 3 edificaciones, y una de las metodologías de diseño propuestas actualmente.

## VII. DIAGNÓSTICO PARA LA CIUDAD DE BOGOTÁ

En la Figura 13 se presentan las curvas de aceleración respecto a la altura en edificios típicos de pórticos con rellenos de mampostería no reforzada construidos en diferentes zonas sísmicas de la ciudad de Bogotá D.C. Para obtener estas curvas se utiliza la metodología propuesta en este trabajo, la cual fue descrita anteriormente. Se muestran estas curvas para 3 edificios de 3, 7 y 13 pisos (ver Figuras 7 a 9), teniendo en cuenta los espectros de diseño obtenidos de la Microzonificación Sísmica para la ciudad de Bogotá D.C. (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2001). Estas curvas de aceleración se obtuvieron para un coeficiente de importancia de la edificación ( $I$ ) igual a uno (1.0). Para obtener estos resultados con un coeficiente diferente, se debe utilizar la Ecuación 14 y sus respectivos espectros de diseño (Carrillo, 2004).



pisos

Figura 13. Demanda sísmica en edificios de diferentes niveles

## VIII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Teniendo en cuenta la gran importancia que tiene la evaluación de la demanda sísmica, se establece en este trabajo una metodología apropiada (ver Ecuación 14) para su estimación teniendo en cuenta los resultados obtenidos por diferentes métodos establecidos a nivel mundial, modelos analíticos de edificios típicos (ver Figura 3) y los datos registrados del edificio Sherman Oaks (ver Figura 1). Al observar los resultados que se presentan en la Figura 5, la metodología propuesta en este trabajo arroja resultados consistentes y con un margen de seguridad aceptable, comparados con registros reales y modelos analíticos elásticos e inelásticos (computacionales). Además, se corroboró la validez de esta metodología, por medio de varios modelos analíticos con diferentes geometrías (ver Figuras 7 a 9) teniendo en cuenta la incidencia de los muros de relleno (ver Figuras 10 a 12).

La metodología propuesta para evaluar estas aceleraciones esta fundamentada en la norma NSR-98 (AIS, 1998). Sin embargo, se realizaron algunas modificaciones importantes, como por ejemplo, para el nivel de desplante de la edificación (nivel cero) donde la aceleración máxima es igual a la aceleración máxima del suelo y no la mitad de este valor (ver Ecuación 1). Por otra parte, el periodo de la edificación se evalúa teniendo en cuenta la incidencia de los muros de relleno en el comportamiento global de la edificación.

## IX. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

Se presenta una propuesta para la estimación de la aceleración absoluta máxima en los diferentes niveles de una estructura con sistema estructural de pórtico con rellenos de mampostería no reforzada, en función de las características propias de la edificación (masas, alturas de piso, etc.) y del espectro de respuesta de aceleraciones que tradicionalmente se propone en los reglamentos.

En estos reglamentos se especifica como criterio de diseño, que los muros divisorios y fachadas deben separarse de la estructura para que ésta al deformarse como consecuencia del sismo no los afecte adversamente ó disponer de elementos no estructurales que toquen la estructura y por lo tanto, deben ser lo suficientemente flexibles para poder resistir las deformaciones que la estructura les impone. Sin embargo, cuando los muros de relleno están conectados al sistema estructural, el comportamiento del edificio frente a cargas laterales puede verse afectado significativamente, debido principalmente al cambio de rigidez. Por lo tanto, las aceleraciones a que están sometidos estos elementos no estructurales son distintas a las que tendrían si se encuentran separados de la estructura. Esta afirmación puede verse claramente en las Figuras 10 a 12, donde la demanda sísmica en cada uno de los niveles de la edificación es distinta para los muros aislados que para los muros en pleno contacto con la estructura.

Esta propuesta además de cubrir los resultados con un margen de seguridad aceptable frente a los obtenidos experimental y analíticamente (con modelos elásticos e inelásticos), tiene en cuenta la marcada influencia de los muros de relleno (muros de

mampostería en pleno contacto) en la respuesta final de la edificación, la cual afecta considerablemente la demanda sísmica en cada uno de los elementos estructurales y no estructurales que se encuentran en los diferentes niveles de la edificación. Además, la facilidad para la utilización de la metodología, la hace aplicable y práctica a todos los profesionales que interactúan diariamente con el análisis y diseño estructural, lo cual es una gran desventaja de otras metodologías, que aunque sus resultados no están acordes a los obtenidos experimental y analíticamente, su utilización requiere de gran cantidad de parámetros, uso de hojas electrónicas y conocimientos avanzados de dinámica estructural.

Con esta metodología de diseño, se brinda al ingeniero estructural una alternativa de solución eficiente (acertada y de cálculo práctico y sencillo) que le permitirá estimar de una manera más precisa y rápida, las solicitaciones a que estarán sometidos los elementos no estructurales (fuera del plano) y por lo tanto, realizar diseños seguros, económicos y confiables.

Adicionalmente, se estima por medio de esta metodología para la ciudad de Bogotá, las aceleraciones a que estarán sometidos los muros de mampostería fuera del plano en 3 edificios típicos ubicados en cada una de las zonas definidas en la microzonificación sísmica de esta ciudad (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2001). Según estos resultados (ver Figura 13), las zonas que tendrán mayor y menor sollicitación en los rellenos de mampostería, son las zonas 3 y 4 respectivamente, lo cual lograría predecir, en que sitios de la ciudad, se podría presentar el mayor y menor daño de los elementos catalogados como no estructurales.

## REFERENCIAS

- [1] AIS, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. 1998. *Normas Colombianas de diseño y construcción sísmo resistente – NSR-98*. Bogotá D.C.
- [2] Carrillo, W. J. 2004. *Modelación del comportamiento inelástico de pórticos de concreto con mampostería no reforzada*. Tesis presentada como requisito para optar el título de Magíster en Ingeniería Civil. Bogotá DC: Universidad de Los Andes.
- [3] NTCS-2001. 2001. *Propuesta de normas técnicas complementarias para diseño por sismo*. <http://www.smie.org.mx/articulos>
- [4] NEHRP. 1997. *Recommended provisions for seismic regulations for new buildings and other structures. 1997 edition*
- [5] Paulay, T. y Priestley M. J. N. 1992. *Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings*. John Wiley & Sons.
- [6] Jaramillo, J. D. 2003. *Evaluación aproximada de la aceleración absoluta para una forma modal en sistemas de múltiples grados de libertad*. Artículo presentado en el Segundo Congreso de Ingeniería Sísmica. Medellín: Universidad EAFIT.
- [7] Rodríguez, M. E. y Restrepo, J. I. 2002. *Earthquake-induced floor horizontal accelerations in buildings*. San Diego: Earthquake Engineering and Structural Dynamics.

- [8] Jaramillo, J. D. 2004. *Evaluación aproximada de la aceleración absoluta en sistemas de múltiples grados de libertad considerando la participación de N formas modales*. Medellín: Universidad EAFIT.
- [9] Sasani, M.; Bertero, V. & Anderson, J. 1999. *Rehabilitation of nonductile RC frame building using encasement plates and energy-dissipating devices*. Report 1999/12. Berkeley: Pacific Earthquake Engineering Research Center – PEER, University of California.
- [10] Reyes, J. C. 2001. *Modelamiento sísmico no lineal de estructuras de concreto con disipadores de energía*. Tesis presentada como requisito para optar el título de Magíster en Ingeniería Civil. Bogotá DC: Universidad de Los Andes.
- [11] Computers and Structures, SAP 2000 v8.16. *“Integrated Finite Elements Analysis and Design of Structures”*, Berkeley, CA, 2003.
- [12] Alcaldía Mayor de Bogotá DC. 2001. *Decreto 074: Microzonificación sísmica de la ciudad de Bogotá D.C.* Bogotá DC: Alcaldía Mayor de Bogotá.